

(51) Int.Cl.⁶ 識別記号

H 0 1 L 21/027

G 0 2 B 7/198

13/24

17/08

G 0 3 F 7/20

5 0 2

F I

H 0 1 L 21/30

G 0 2 B 13/24

17/08

G 0 3 F 7/20

5 1 5 D

Z

5 0 2

5 2 1

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-166319

(22) 出願日 平成10年(1998) 5月29日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 太田 和哉

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

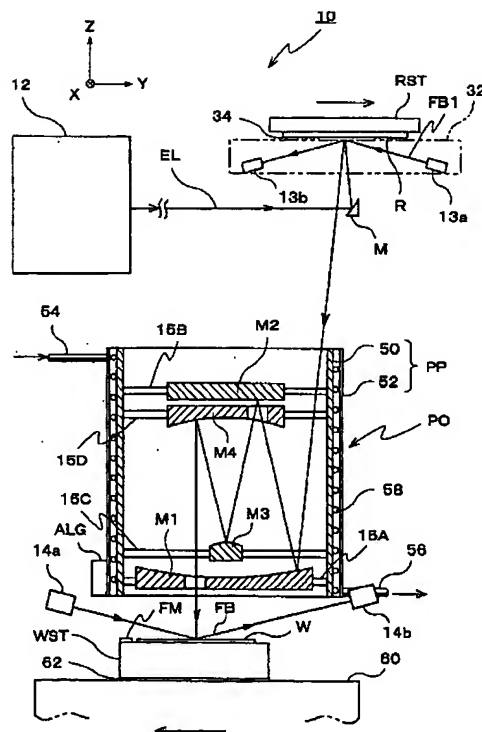
(74) 代理人 弁理士 立石 篤司 (外1名)

(54) 【発明の名称】 露光装置

(57) 【要約】

【課題】 露光光の照射に起因する投影光学系の結像特性の悪化を抑制する。

【解決手段】 投影光学系 P O を構成するミラー M 1 ～ M 4 とこれらのミラーを保持する保持部材 (1 5 A 、 1 5 B 、 1 5 C 、 1 5 D 及び P P) とを同一の熱膨張係数を有する材料により形成した。このため、ミラーと保持部材との熱膨張係数の相違に起因するいわゆるバイメタル効果が発生せず、ミラーに熱歪みが発生するのを防止することができ、これにより投影光学系 P O の結像特性の悪化を抑制することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも一部に反射光学素子を含む投影光学系を備え、該投影光学系を介して所定のパターンを基板上に転写する露光装置において、前記反射光学素子とこれを保持する保持部材とを同一の熱膨張係数を有する材料により形成したことを特徴とする露光装置。

【請求項2】 前記投影光学系が反射光学素子のみから成る反射光学系であり、前記各反射光学素子と該各反射光学素子を保持する保持部材とを同一の熱膨張係数を有する材料により形成したことを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

【請求項3】 前記同一の熱膨張係数を有する材料は、同一の金属材料であることを特徴とする請求項1又は2に記載の露光装置。

【請求項4】 前記各反射光学素子は、その表面に、金属に比べて切削又は研磨が容易な特定材料のメッキ層と露光用照明光に対する反射膜とが順次積層形成されたミラーであることを特徴とする請求項2に記載の露光装置。

【請求項5】 前記特定材料は、ニッケルリンであることを特徴とする請求項4に記載の露光装置。

【請求項6】 前記保持部材は、前記反射光学素子を支持する支持部材と、この支持部材を支持する鏡筒とを含み、前記反射光学素子と鏡筒との間に熱交換器が設けられていることを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項7】 前記鏡筒を冷却する冷却装置を更に備えることを特徴とする請求項5に記載の露光装置。

【請求項8】 前記露光用照明光が、波長5～20nmのEUV光であることを特徴とする請求項4又は5に記載の露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、露光装置に係り、更に詳しくは、一部にミラー等の反射光学素子を含む投影光学系を備え、該投影光学系を介して所定のパターンを基板上に転写する露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体素子の製造のためのリソグラフィ工程において実用最小線幅（デバイスルール）100nm～70nmの回路パターンを基板（ウエハ）に転写するための次世代の露光装置として、波長5～20nm、例えば波長13nm、11nm等のEUV（Extreme Ultraviolet）光を露光光として用いるEUV露光装置が開発されている。このEUV露光装置では、2種類の物質を露光波長の1/2の周期で交互に数十層重ねた多層膜が反射膜として形成されたミラーを3～6枚組み合わせたオール反射式の投影光学系が用いられる。

【0003】EUV光は、ヘリウム（He）のような気

体であってもその透過率が低く、投影光学系は真空中に置かなければならない。一方、ミラー1枚当たりの反射率は約70%と言われており、残りの30%は熱となってミラーに残ってしまう。この熱は、雰囲気が真空であるが故に周囲に逃げることも無く、ミラーを暖め、更にはミラーを支える支持部材までも加熱してしまう。

【0004】一般的に、ミラーの素材に適しているのは、ゼロデュアやULE（いずれも商品名）などの低膨張ガラスである。これらの低膨張ガラスは、線膨張係数が極めて小さいため、熱による温度上昇があっても、ミラーの熱変形の度合いが非常に小さいからである。また、これらのガラスは反射面の加工性に優れている点においてもミラーの素材に適している。EUV露光装置の投影光学系に用いられるミラーの面精度は、一般にRMS値で0.1～0.2nmという高精度が要求されるからである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のEUV露光装置では、ミラーを保持する投影光学系の鏡筒などが金属、例えばインバー（Invar：ニッケル36%、マンガン0.35%及び微量の炭素と他の元素を含む鉄から成る低膨張の合金）などで形成されていることから、ミラーの素材である低膨張ガラスと鏡筒の素材である金属との熱膨張係数が異なり、いわゆるバイメタル効果によりミラーに歪みが生じ、結果的に投影光学系の結像特性（諸収差）を悪化させるという不都合があった。

【0006】また、上記の低膨張ガラスを素材とするミラーであっても熱変形が全く生じないものではなく、その熱変形は投影光学系の結像特性の悪化を招くので、各ミラーが必要以上の高温にならないように、冷却することが一般的に行われている。しかしながら、このミラーの冷却は、反射面の裏面側から行われるため、従来の低膨張ガラスを素材とするミラーでは、熱伝達率が小さいことから冷却効果が反射面側に伝達されるのに時間が掛かり、十分な冷却効果が得られず、投影光学系の結像特性を悪化させる要因となっていた。

【0007】上記と同様の問題は、EUV露光装置に限らず、波長100～160nmのVUV（Vacuum Ultraviolet）光、例えばF₂レーザ光（波長157nm）、Ar₂レーザ光（波長126nm）を露光光として用い、投影光学系に反射光学素子を用いるVUV露光装置、その他の露光装置であっても程度の差はあれ生じ得る。

【0008】本発明は、かかる事情の下になされたもので、その目的は、露光光の照射に起因する投影光学系の結像特性の悪化を抑制することができる露光装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明に係る露光装置

は、少なくとも一部に反射光学素子（M1～M4）を含む投影光学系（PO）を備え、該投影光学系を介して所定のパターンを基板（W）上に転写する露光装置において、前記反射光学素子とこれを保持する保持部材（15A～15D、PP）とを同一の熱膨張係数を有する材料により形成したことを特徴とする。

【0010】これによれば、投影光学系を構成する前記反射光学素子とこれを保持する保持部材とを同一の熱膨張係数を有する材料により形成したことから、両者間の熱膨張係数の相違に起因するいわゆるパイメタル効果が発生せず、反射光学素子に熱歪みが発生するのを防止することができ、これにより投影光学系の結像特性の悪化を抑制することができる。

【0011】この場合において、前記投影光学系が反射光学素子のみから成る反射光学系であり、前記各反射光学素子と該各反射光学素子を保持する保持部材とを同一の熱膨張係数を有する材料により形成することが望ましい。かかる場合には、投影光学系が反射光学素子のみから成り、全ての反射光学素子の熱歪みの発生を防止することができ、結果的に屈折光学素子を含む場合に比べて投影光学系全体としての結像特性の悪化をより効果的に抑制することができる。

【0012】

【発明の実施の形態】《第1の実施形態》以下、本発明の第1の実施形態を図1～図2に基づいて説明する。

【0013】図1には、第1の実施形態に係る露光装置10の全体構成が概略的に示されている。この露光装置10では、後述するように、マスクとしてのレチクルRからの反射光束を基板としてのウエハW上に垂直に投射する投影光学系POが使用されているので、以下においては、この投影光学系POからウエハWへの照明光ELの投射方向を投影光学系POの光軸方向と呼ぶとともに、この光軸方向をZ軸方向、これに直交する面内で図1における紙面内の方向をY軸方向、紙面に直交する方向をX軸方向として説明するものとする。

【0014】この露光装置10は、マスクとしての反射型レチクルRに描画された回路パターンの一部の像を投影光学系POを介して基板としてのウエハW上に投影しつつ、レチクルRとウエハWとを投影光学系POに対して1次元方向（ここではY軸方向）に相対走査することによって、レチクルRの回路パターンの全体をウエハW上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

【0015】露光装置10は、波長11nmのEUV光（軟X線領域の光）ELをY方向に沿って水平に射出する光源装置12、この光源装置12からのEUV光ELを反射して所定の入射角、例えば約50mradでレチクルRのパターン面（図1における下面）に入射するように折り曲げる折り返しミラーM（照明光学系の一部）、レチクルRを保持するレチクルステージRST、

レチクルRのパターン面で反射されたEUV光ELをウエハWの被露光面に対して垂直に投射する反射光学系から成る投影光学系PO、ウエハWを保持するウエハステージWST等を備えている。

【0016】前記光源装置12は、レーザ励起プラズマ光源から成る露光光源、集光ミラーとしての放物面鏡、照明ミラー、波長選択窓等（いずれも図示省略）を含み、折り返しミラーMを介してレチクルRのパターン面を円弧スリット状照明光で照明する。

【0017】前記レチクルステージRSTは、XY平面に沿って配置されたレチクルステージベース32上に配置され、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によって前記レチクルステージベース32上に浮上支持されている。このレチクルステージRSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によってY方向に所定ストロークで駆動されるとともに、X方向及びθ方向（Z軸回りの回転方向）にも微小量駆動されるようになっている。また、このレチクルステージRSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によってZ方向及びXY面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

【0018】このレチクルステージRSTのZ方向の位置は、レチクルRのパターン面に対し斜め方向から検出ビームFB1を照射する送光系13aと、レチクルRのパターン面で反射された検出ビームFB1を受光する受光系13bとから構成されるレチクルフォーカスセンサ13によって計測されている。このレチクルフォーカスセンサ13としては、例えば特開平6-283403号公報等に開示される多点焦点位置検出系が用いられている。また、レチクルステージRSTのXY面内の位置は不図示のレーザ干渉計システムによって計測されている。

【0019】前記レチクルフォーカスセンサ13及びレーザ干渉計システムの計測値は、不図示の主制御装置に供給され、該主制御装置によって磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34が制御され、レチクルステージRSTの6次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

【0020】レチクルステージRSTの下面に、不図示の静電チャック方式のレチクルホルダを介してレチクルRが吸着保持されている。このレチクルRは、シリコンウエハ、石英、低膨張ガラスなどの薄い板から成り、その表面（パターン面）には、EUV光を反射する反射膜が形成されている。この反射膜は、モリブデンMoとベリリウムBeの膜が交互に約5.5nmの周期で、約50ペア積層された多層膜である。この多層膜は波長11nmのEUV光に対して約70%の反射率を有する。なお、前記折り返しミラーM及び前記光源装置12内の各ミラーの反射面にも同様の構成の多層膜が形成されている。

【0021】レチクルRのパターン面に形成された多層膜の上には、吸収層として、例えばニッケルNiが一面に塗布され、回路パターンがパターンニングされている。この回路パターンの最も細かい線は、約560nm周期のラインアンドスペース(L/S)パターン、若しくは200nmの孤立線、若しくは直径200~280nmのホールパターンである。

【0022】レチクルRの吸収層(ニッケルNi)が残っている部分に当たったEUV光はその吸収層によって吸収され、Niの抜けた部分に当たったEUV光は反射膜によって反射され、結果として回路パターンの情報を含んだEUV光がレチクルパターン面で反射されて次に述べる投影光学系POへ向かう。

【0023】前記投影光学系POは、開口数(N.A.)が0.1で、後述するように、反射光学素子(ミラー)のみから成る反射光学系が使用されており、ここでは、投影倍率1/4倍のものが使用されている。従って、レチクルRによって反射され、レチクルRに描かれたパターン情報を含むEUV光ELは、投影光学系POによって4分の1に縮小されてウエハW上に投影され、これによりレチクルR上のパターンは1/4に縮小されてウエハWに転写される。すなわち、最小線幅、70nm L/S、50nm孤立線、50~70nmのホールパターンの転写像がウエハW上に形成される。

【0024】ここで、投影光学系POについてより詳細に説明する。この投影光学系POは、図1に示されるように、レチクルRで反射されたEUV光ELを順次反射する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の合計4枚のミラー(反射光学素子)と、これらのミラーM1~M4を保持する鏡筒PPとを含んで構成されている。前記第1ミラーM1及び第4ミラーM4の反射面は非球面の形状を有し、第2ミラーM2の反射面は平面であり、第3ミラーM3の反射面は球面形状となっている。各反射面は設計値に対して露光波長の約50分の1から60分の1以下の加工精度が実現され、RMS値(標準偏差)で0.2nmから0.3nm以下の誤差しかない。第1ミラーM1~第4ミラーM4の素材としては、ここでは鉄やアルミニウムなどに比べて線膨張係数の小さいインバーと呼ばれる合金が用いられ、各ミラーの表面にはインバーの上にニッケルリン(Ni-P)の薄いメッキ層(例えば厚さ数十~数百μmのメッキ層)が形成され、このNi-Pの表面を高精度に加工した後、レチクルRと同じMo/Be多層膜が反射層として形成されている。

【0025】この場合、図1に示されるように、第1ミラーM1で反射された光が第2ミラーM2に到達できるように、第4ミラーM4には穴が空けられている。同様に第4ミラーM4で反射された光がウエハWに到達できるように第1ミラーM1には穴が設けられている。勿論、穴を空けるのではなく、ミラーの外形を光束が通過可能な

切り欠きを有する形状としても良い。

【0026】投影光学系POが置かれている環境は真空であるため、ミラーM1~M4に対する照明光ELの照射による熱の逃げ場がない。そこで、本実施形態では、次のようにしてミラーM1~M4の熱膨張に起因する投影光学系POの結像特性の悪化を極力抑制するようにしている。

【0027】すなわち、ミラーM2を、該ミラーM2の素材と同一のインバーから成る3本の支持部材15Bによって鏡筒PPに連結するとともに(図2参照)、鏡筒PPの素材としてインバーを用いている。これと同様に、第1ミラーM1、第3ミラーM3、第4ミラーM4を、該ミラーM1、M3、M4の素材と同一のインバーから成る各3本の支持部材15A、15C、15Dによって鏡筒PPにそれぞれ連結している。これにより、ミラーM1~M4、支持部材15A~15D及び鏡筒PPが同一温度である限り、いわゆるバimetall効果によるミラーM1~M4の熱歪みの発生を防止することができる。

【0028】また、本実施形態では、ミラーM1~M4、支持部材15A~15D及び鏡筒PPを速やかに同一温度にするために、図2の平面図に示されるように、ミラーM1~M4のそれぞれと鏡筒PPとの間に、該鏡筒PPの内周面に一端側の放熱部(凝縮部)が固定された複数の熱交換器としての平板状ヒートパイプHPを設け、各ヒートパイプHPの他端側の入熱部(蒸発部)と各ミラーM1~M4との間にシリコン等の緩衝部材92を介装している。このため、ミラーM1~M4と鏡筒PPとの間でヒートパイプHPにより熱交換が行われ、両者がごく短時間で同一温度となる。勿論、ミラーM1~M4の熱は各支持部材15A~15Dを介しての熱伝導によっても鏡筒PPに伝達される。また、ヒートパイプHPは、熱交換中にわずかながら伸縮するものと考えられるが、緩衝部材92の作用によりその伸縮力がミラーに及ぼす影響は非常に小さなものになっている。すなわち、本実施形態では、ヒートパイプHPと緩衝部材92とによって、ミラーM1~M4と鏡筒PPとの間で熱を伝えるが、力を伝えない構造が実現されている。

【0029】さらに、本実施形態では、鏡筒PPを内側のインナー部材50と、その外周部に装着された冷却装置としての冷却ジャケット52との2重構造とし、冷却ジャケット52の内部には、冷却液(例えばフロリナート(商品名))を流入チューブ54側から流出チューブ56側に流すための螺旋状のパイプ58が設けられている。冷却ジャケット52から流出チューブ56を介して流出した冷却液は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ54を介して冷却ジャケット52内に流入するようになっており、このようにして冷却液が循環されるようになっている。

【0030】上述のようにして、ミラーM1～M4がそれぞれの支持部材によって支持され、ヒートパイプHPによって鏡筒PPのインナー部材50に連結されているため、本実施形態の投影光学系POでは、露光用の照明光（EUV光）ELの照射によりミラーM1、M2、M3、M4に熱エネルギーが与えられても、ヒートパイプHPを介して一定温度に温度調整された鏡筒PPとの間で熱交換が行われ、ミラーM1、M2、M3、M4が前記一定温度に冷却される。

【0031】前記ウエハステージWSTは、XY平面に沿って配置されたウエハステージベース60上に配置され、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62によって該ウエハステージベース60上に浮上支持されている。ウエハステージWSTは、前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62によってX方向及びY方向に所定ストロークで駆動されるとともに、 θ 方向（Z軸回りの回転方向）にも微小量駆動されるようになっている。また、このウエハステージWSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62によってZ方向及びXY面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

【0032】ウエハステージWSTの上面には、静電チャック方式の不図示のウエハホルダが載置され、該ウエハホルダによってウエハWが吸着保持されている。ウエハステージWSTのXY面内の位置は、不図示のレーザ干渉計システムによって計測されるようになっている。また、鏡筒PPを基準とするウエハWのZ方向位置は、投影光学系POに固定された斜入射光式のウエハフォーカスセンサ14によって計測されるようになっている。このウエハフォーカスセンサ14は、図1に示されるように、鏡筒PPを保持する不図示のコラムに固定され、ウエハW面に対し斜め方向から検出ビームFBを照射する送光系14aと、同じく不図示のコラムに固定され、ウエハW面で反射された検出ビームFBを受光する受光系14bとから構成される。このウエハフォーカスセンサとしては、レチクルフォーカスセンサと同様の多点焦点位置検出系が用いられる。

【0033】前記ウエハフォーカスセンサ14及びレーザ干渉計システムの計測値は、不図示の主制御装置に供給され、該主制御装置によって磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62が制御され、ウエハステージRSTの6次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

【0034】ウエハステージWST上面の一端部には、レチクルRに描画されたパターンがウエハW面上に投影される位置と、後述するアライメント光学系ALGの相対位置関係の計測（いわゆるベースライン計測）等を行うための空間像計測器FMが設けられている。この空間像計測器FMは、従来のDUV露光装置の基準マーク板に相当するものである。

【0035】さらに、本実施形態では、投影光学系POの側面に、図1に示されるように、アライメント光学系ALGが固定されている。このアライメント光学系ALGとしては、ブロードバンド光をウエハW上のアライメントマーク（または空間像計測器FM）に照射し、その反射光を受光して画像処理方式によりマーク検出を行う結像式アライメントセンサ、レーザ光をウエハ上の格子マークに2方向から照射し、該格子マークから発生した回折光同士を干渉させてその干渉光の位相に基づき格子マークの位置を検出するLIA（Laser Interferometric Alignment）方式のアライメントセンサやAFM（原子間力顕微鏡）のような走査型プローブ顕微鏡等種々のものを用いることができる。

【0036】次に、上述のようにして構成された本実施形態の露光装置10による露光工程の動作について説明する。

【0037】まず、不図示のレチクル搬送系によりレチクルRが搬送され、ローディングポジションにあるレチクルステージRSTに吸着保持される。次いで、主制御装置により、ウエハステージWST及びレチクルステージRSTの位置が制御され、レチクルR上に描画された不図示のレチクルアライメントマークのウエハW面上への投影像が空間像計測器FMを用いて検出され、レチクルパターン像のウエハW面上への投影位置が求められる。すなわち、レチクルアライメントが行われる。

【0038】次に、主制御装置により、空間像検出器FMがアライメント光学系ALGの直下へ位置するように、ウエハステージWSTが移動され、アライメント光学系ALGの検出信号及びそのときの干渉計システムの計測値に基づいて、間接的にレチクルRのパターン像のウエハW面上への結像位置とアライメント光学系ALGの相対位置、すなわちベースライン量が求められる。

【0039】かかるベースライン計測が終了すると、主制御装置により、いわゆるEGAアライメントが行われ、ウエハW上の全てのショット領域の位置が求められる。

【0040】そして、次のようにしてステップアンドスキャン方式の露光がEUV光ELを露光用照明光として行われる。すなわち、主制御装置では上で求めたウエハW上びの各ショット領域の位置情報に従って、干渉計システムからの位置情報をモニタしつつ、ウエハステージWSTを第1ショットの走査開始位置に位置決めするとともに、レチクルステージRSTを走査開始位置に位置決めして、その第1ショットの走査露光を行う。この走査露光に際し、主制御装置ではレチクルステージRSTとウエハステージWSTとを相互に逆向きに駆動するとともに両者の速度比が投影光学系POの投影倍率に正確に一致するように両ステージの速度を制御し、両ステージのかかる速度比の等速同期状態にて露光（レチクルパターンの転写）を行う。これにより、ウエハW上の第1

ショットには、例えば25mm(幅)×50mm(走査方向)の回路パターンの転写の像が形成される。

【0041】上記のようにして第1ショットの走査露光が終了すると、主制御装置ではウエハステージWSTを第2ショットの走査開始位置へ移動させるショット間のステッピング動作を行う。そして、その第2ショットの走査露光を上述と同様にして行う。以後、第3ショット以降も同様の動作を行う。

【0042】このようにして、ショット間のステッピング動作とショットの走査露光動作とが繰り返され、ステップアンドスキャン方式でウエハW上の全てのショット領域にレチクルRのパターンが転写される。

【0043】ここで、上記の走査露光中やアライメント中には、ウエハフォーカスセンサ14(14a、14b)によってウエハW表面と投影光学系POの間隔、XY平面に対する傾斜が計測され、主制御装置によってウエハW表面と投影光学系POとの間隔、平行度が常に一定になるようにウエハステージWSTが制御される。また、主制御装置では、レチクルフォーカスセンサ13(13a、13b)の計測値に基づいて、露光中(レチクルパターンの転写中)の投影光学系POとレチクルRのパターン面との間隔が常に一定に保たれるように、レチクルRの投影光学系POの光軸方向(Z方向)の位置を調整しつつ、レチクルステージRSTと基板ステージWSTとをY軸方向に沿って同期移動させる。

【0044】以上説明したように、本実施形態の露光装置10によると、極めて波長の短いEUV光ELを露光光として用い、色収差のないオール反射の投影光学系POを介してレチクルRのパターンがウエハW上に転写されるので、レチクルR上の微細パターンをウエハW上の各ショット領域に高精度に転写することができる。具体的には、最小線幅70nm程度の微細パターンの高精度な転写が可能である。

【0045】また、本実施形態では、ミラーM1、M2、M3、M4と各支持部材15A、15B、15C、15Dと鏡筒PP(のインナー部材50)とが、同一の金属すなわちインパーによって形成されているので、これらの温度が均一である限り、ミラーに熱歪みが生じるおそれはなく、しかも、これらの温度の均一化が、支持部材15A、15B、15C、15Dと、ミラーM1、M2、M3、M4と鏡筒PP(のインナー部材50)との間の熱交換を行うヒートパイプHPとによって実現されるので、ミラーの熱歪みに起因する投影光学系POの結像特性(諸収差)の悪化を効果的に抑制することができる。

【0046】また、鏡筒PP及びヒートパイプHPを介してミラーM1、M2、M3、M4が冷却装置(冷却ジャケット52)によって冷却されるので、ミラーM1、M2、M3、M4の熱膨張そのものも効果的に抑制される。

【0047】また、ミラーM1～M4を、インパーにより形成し、その表面に、金属に比べて切削又は研磨等の加工が容易なニッケルリンのメッキ層と露光用照明光に対する反射膜とが順次積層形成されていることから、素材として金属を用いているにもかかわらず、ニッケルリンのメッキ層を研削することにより、各反射面は設計値に対して露光波長の約50分の1から60分の1以下の加工精度が実現されている。

【0048】《第2の実施形態》次に、本発明の第2の実施形態を図3に基づいて説明する。ここで、前述した第1の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともにその説明を省略するものとする。

【0049】図3には、第2の実施形態の露光装置100の全体構成が概略的に示されている。この露光装置100も、前述した露光装置10と同様に、露光用の照明光ELとして波長11nmのEUV光を用いて、ステップアンドスキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。

【0050】この露光装置100は、前述した投影光学系POに代えて投影光学系PO'が設けられている点が前述した露光装置10と異なり、この点に特徴を有する。

【0051】この投影光学系PO'は、Z方向に沿って配置され相互に連結された第1～第5の分割鏡筒PP1～PP5の5部分から構成された鏡筒を備えている。各分割鏡筒PP1～PP5は、前述した第1の実施形態に係る鏡筒PPと同様に構成されている。分割鏡筒PP1～PP5のそれぞれは、別々の冷却装置によって独立して冷却されている。なお、図3においては、分割鏡筒PP1～PP5にそれぞれ設けられた流入チューブ及び流出チューブは図示が省略されている。

【0052】第1の分割鏡筒PP1は、第2ミラーM2を保持する鏡筒であり、第2の分割鏡筒PP2は第4ミラーM4を保持する鏡筒であり、第4の分割鏡筒PP4は第3ミラーM3を保持する鏡筒であり、第5の分割鏡筒PP5は第1ミラーM1を保持する鏡筒である。残りの第3の分割鏡筒PP3はいずれのミラーをも保持せず、いわば第2の分割鏡筒PP2に保持された第4ミラーM4と第4の分割鏡筒PP4に保持された第3ミラーM3との距離を所定の距離に保持するために設けられているものである。

【0053】第1～第4ミラーM1～M4は、前述した第1の実施形態と同様にして、対応する分割鏡筒にそれぞれ保持されている。その他の部分の構成は、前述した第1の実施形態と同一になっている。

【0054】以上のようにして、構成された本第2の実施形態に係る露光装置100では、前述した第1の実施形態と同等の効果を得られる他、各分割鏡筒PP1～PP5が、独立して別々の冷却装置によって冷却されるの

で、各分割鏡筒の冷却ジャケット内に異なる温度の冷却水を流すことにより、それぞれの分割鏡筒を異なる温度まで強制冷却することが可能である。ここでは、レチクルRからの反射光が最初に照射されるミラーM1を保持する第5の分割鏡筒PP5を最も低温で冷却し、第2ミラーM2を保持する第1の分割鏡筒PP1をその次に低い温度で冷却し、第3ミラーM3を保持する第4の分割鏡筒PP4をその次に低い温度で冷却し、第4ミラーM4を保持する第2の分割鏡筒PP2をその次に低い温度で冷却し、残りの第3の分割鏡筒PP3をその次に低い温度、すなわち最も高い温度で冷却するようになっている。これにより、最も熱吸収の大きさに応じた冷却温度により第1～第4ミラーM1～M4を効率良く冷却することができ、結果的に各ミラーの熱膨張に起因する転写像の劣化を効率的に抑制している。

【0055】また、本第2の実施形態によると、鏡筒が複数に分割されているので、投影光学系PO'の組み立て時あるいは調整時の作業性が向上するという利点もある。

【0056】なお、上記第1、第2の実施形態では、露光光として波長11nmのEUV光を用いる場合について説明したが、これに限らず、露光光として波長13nmのEUV光を用いても良い。この場合には、波長13nmのEUV光に対して約70%の反射率を確保するため、各ミラーの反射膜としてモリブデンMoと珪素Siを交互に積層した多層膜を用いる必要がある。

【0057】また、上記実施形態においては、ミラーM1～M4、それらの支持部材15A～15D、及び鏡筒の素材としてインバーを用いる場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。すなわち、ミラー（反射光学素子）とその保持部材とを同一の熱膨張係数を有する素材によって形成する本発明によれば、いわゆるバイメタル効果に起因するミラーの歪みを防止することができるので、インバーに代えて、アルミニウムAl、銅Cuなどの高熱伝導率の金属を用いて、ミラーM1～M4、支持部材及び鏡筒等を形成しても良い。かかる場合には、ミラーM1～M4からの熱が支持

部材を介して速やかに鏡筒に伝達されるので、上記実施形態で説明したヒートパイプを必ずしも設けなくても良くなる。

【0058】また、上記実施形態では、露光光源としてレーザ励起プラズマ光源を用いるものとしたが、これに限らず、シンクロトロン放射光源、ペータトロン光源、ディスチャージド光源、X線レーザなどのいずれを用いても良い。

【0059】また、本発明は、EUV露光装置に限らず、光源にAr₂レーザ（波長126nm）を用い、投影光学系として4～8枚のミラーを有し、開口数（N.A.）が0.5～0.8の光学系を用いた、VUV露光装置にも好適に適用することができる。

【0060】この他、本発明は、投影光学系としてミラー等を含む反射屈折型の投影光学系を備えたDUV露光装置に適用することも勿論可能であり、かかる場合であってもバイメタル効果によるミラー等の熱歪みを防止することができる。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、露光光の照射に起因する投影光学系の結像特性の悪化を抑制することができるという優れた効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態の露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の投影光学系の平面図である。

【図3】第2の実施形態の露光装置の構成を概略的に示す図である。

【符号の説明】

10…露光装置、15A～15D…支持部材（保持部材の一部）、52…冷却ジャケット（冷却装置）、M1…第1ミラー（反射光学素子）、M2…第2ミラー（反射光学素子）、M3…第3ミラー（反射光学素子）、M4…第4ミラー（反射光学素子）、PO…投影光学系、W…ウエハ（基板）、PP…鏡筒（保持部材の一部）、HP…ヒートパイプ（熱交換器）。

フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁶

G 0 3 F 7/20

識別記号

5 2 1

F I

G 0 2 B 7/18

B

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.